

पानी

एक चकित करने वाला अणु

यासमीन जयतीर्थ

पृथ्वी से परे जीवन रूपों की हमारी खोज पानी खोजने से क्यों जुड़ी हुई है? बर्फ का घनाकार टुकड़ा पानी से भरे गिलास में क्यों तैरता है? कौन–सी बात पानी को दूसरे द्रवों से भिन्न बनाती है? इस लेख में लेखिका ने पानी से जुड़े कई अवलोकनों का उपयोग एक ऐसे विषयसूत्र के रूप में उसकी जाँच–पड़ताल करने के लिए किया है जिसका विभिन्न कक्षाओं और विषयों के अन्तर्गत अध्ययन किया जा सकता है।

पानी जनजीवन में सबसे ज्यादा व्यापक रूप से पाया जाने वाला एक ऐसा द्रव है जिससे हमारा परिचय है और जिसका उपयोग हम उसके बारे में बिना ज्यादा सोचे–विचारे करते रहते हैं, सिवाय तब शिकायत करने के जब वह फैलता है, अधिक भरने पर बेकार बहता है, या बारिश के रूप में भीतर आ जाता है, या हमें प्यासे होने पर जिसकी तलब लगती है, या बारिश न होने पर जिसकी गहरी चाह होती है।

पानी हमारे जीवन में, सभी जीवरूपों के जीवन में, और व्यापक रूप से इस ग्रह पर अनेक भूमिकाएँ निभाता है। रसायनशास्त्रियों, भौतिकशास्त्रियों, जीवशास्त्रियों और इंजीनियरों द्वारा इसका अध्ययन किया जाता है और अभी भी इस पर शोधकार्य किया जा रहा है। यह आश्चर्य की बात है क्योंकि यह इतना छोटा–सा अणु है, जिसका इतना सरल सूत्र है H_2O। शायद यह वह सूत्र है जो विज्ञान का हर विद्यार्थी सबसे पहले सीखता है।



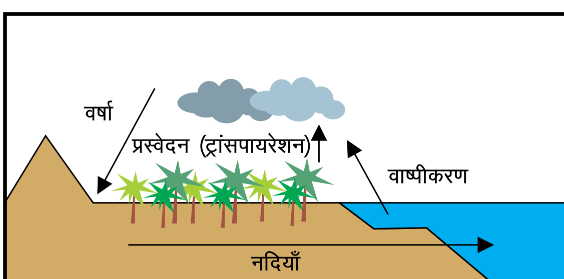
फीलिक्स फ्रैंक एक ब्रिटिश वैज्ञानिक हैं जिनका काम प्रमुख रूप से पानी की संरचना और उसके गुणों के बारे में है। वे निम्नलिखित किस्सा सुनाते हैंः वे किसी विश्वविद्यालय में पानी पर एक व्याख्यान देने के लिए रेलगाड़ी से सफर कर रहे थे। संयोग से उसी डिब्बे में एक अन्य वैज्ञानिक भी थे जो खुद भी एक नौकरी के साक्षात्कार के लिए उसी विश्वविद्यालय में जा रहे थे। फ्रैंक के व्याख्यान का शीर्षक सुनकर उन्होंने ऐसा कहा कि, 'मेरा ख्याल था कि सभी को पता है कि पानी की संरचना H_2O होती है।' फ्रैंक कहते हैं कि यह कहने की जरूरत नहीं कि उन सज्जन को वह नौकरी नहीं मिली।

वे क्या भूमिकाएँ हैं जिन्हें पानी निभाता है?

1. यह जीवन के लिए एक पर्यावरण प्रदान करता है।
2. यह एक संरचनात्मक पदार्थ की तरह काम करता है।
3. यह एक बहुत अच्छा विलायक है।
4. यह बड़े और छोटे, दोनों पैमानों पर पदार्थों और ऊर्जा के परिवहन के लिए एक माध्यम है।
5. यह एक (ऊष्मा) अवरोधक की तरह काम करता है।
6. यह जलवायु को मध्यस्थ (moderator) बनाने का काम करता है।
7. यह एक शीतलक की तरह ठण्डा करने का काम करता है।
8. यह एक रासायनिक अभिकारक है।

पानी के शायद और भी अन्य अनेक उपयोग हैं। ऊपर बताए गए कई उपयोग एक–दूसरे से जुड़े हुए हैं। जब हम अपने आसपास के जीवन को देखते हैं तो हमें पानी के उपरोक्त कार्यों के अनेक उदाहरण मिलते हैं।

हम शुरुआत पानी के कुछ ऐसे कार्यों से करते हैं जो ज्यादा बड़े पैमानों पर किए जाते हैं। हम सभी को जल चक्र के बारे में कुछ जानकारी होती है। लेकिन इस प्रक्रिया के दौरान एक अवस्था से दूसरी अवस्था में स्थानान्तरित होने वाले पानी की वास्तविक मात्रा हमें चकित कर सकती है।

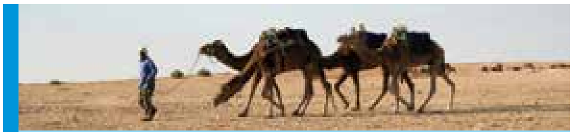


जल चक्र
स्रोत: *http://www.teacherplus.org/lets-experiment/the-chemistry-of-water/attachment/le-fig_water*

सभी प्रकार की जलवायु में और सारे संसार में समुद्र, नदियाँ, झीलें, तालाब, चट्टानों में बने छोटे–छोटे पानी के डबरे आदि सभी प्राणियों के जीवित रहने के लिए पर्यावरण प्रदान करते हैं। अनेक छोटे तालाब और डबरे अपने बनने के थोड़े ही समय के भीतर जीवन से भर जाते हैं। यह देखना बहुत आसान है कि मच्छर का लार्वा कहाँ से आता है, परन्तु मछली और पौधों के बारे में क्या कहेंगे – वे वहाँ कैसे आ जाते हैं? असल में अण्डे और बीज बारिश के आने तक वहाँ सूखी, निर्जल अवस्था में पड़े रहते हैं। बारिश का पानी उन्हें, भीतर और बाहर, अंकुरित होने का और नए जीवरूपों के पनपने का अवसर और परिवेश देता है।

पानी जीवन के लिए नितान्त आवश्यक क्यों है? वह एक ऐसा माध्यम प्रदान करता है जिसमें रसायन घुलते हैं और परस्पर अभिक्रिया करते हैं। पानी खुद भी रासायनिक क्रियाओं के घटित होने के लिए एक अभिकारक की तरह काम करता है। क्या कोई अन्य यौगिक केवल पृथ्वी पर ही नहीं बल्कि अन्य किसी भी जगह जीवन को उसी तरह से सहारा देता है जैसे पानी देता है? जैनोबॉयोलोजिस्ट (वे वैज्ञानिक जो पृथ्वी से परे किसी जगह पर जीवन के बारे में विचार करते हैं) ऐसा सोचते हुए नहीं प्रतीत होते। अनजाने जीवन की समस्त खोज इस बात पर केन्द्रित जान पड़ती है कि ब्रह्माण्ड में कहीं और पानी मौजूद है या नहीं। पृथ्वी पर पानी उपलब्ध है और समस्त जीवन उसका उपयोग करने के लिए विकसित हुआ है।

पृथ्वी पर रहने वाले हम सभी प्राणियों के पूर्वज पानी से भूमि पर स्थानान्तरित हुए, तब हमें पानी को प्राप्त करने, उसे अपने भीतर रखने और यह सुनिश्चित करने कि हमारी सन्तानों को बढ़ने के लिए पानी उपलब्ध रहे, इन सबके लिए तरीके विकसित करना पड़े। विभिन्न जीवरूपों के समूहों ने इस समस्या को अलग–अलग तरीकों से हल किया। एक जीवविज्ञानी की तरह इन सभी तरीकों का अध्ययन करना बहुत अद्भुत होता है।

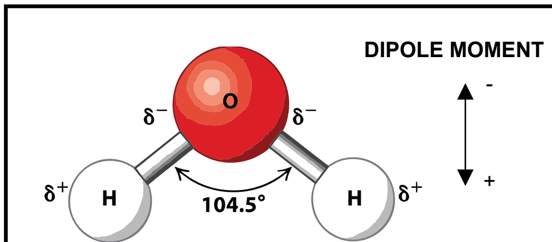


ऐसा माना जाता है कि ऊँट अपने कूबड़ में संचित पानी लेकर चलते हैं जो बिना पानी पिए लम्बी दूरियों तक जाने में उनकी सहायता करता है। वास्तव में उनके कूबड़ में वसा होती है। वसा, एक ऊष्मा–अवरोधक और पानी के स्रोत, दोनों तरह से काम करती है। भोजन के पचने की प्रक्रिया (मैटाबोलिज्म) पानी निकालती है, और इस तरह वह उस पानी का कुछ हिस्सा प्रदान करती है जिसकी सभी जीवरूपों को जरूरत होती है। एक ग्राम वसा के पचने की प्रक्रिया में एक ग्राम से भी अधिक पानी निकलता है। इसलिए, ऊँट को अपने कूबड़ से ऊर्जा और पानी दोनों प्राप्त होते हैं और वह बिना भोजन और पानी के कई दिनों तक चल सकता है। परन्तु, कुछ वैज्ञानिकों ने तर्क दिया है कि कूबड़ ऊँट के लिए पानी का स्रोत नहीं हो सकता, क्योंकि कूबड़ में मौजूद वसा को पचाने के लिए साँस की प्रक्रिया के द्वारा आक्सीजन लेने से शरीर के पानी में कमी आएगी।

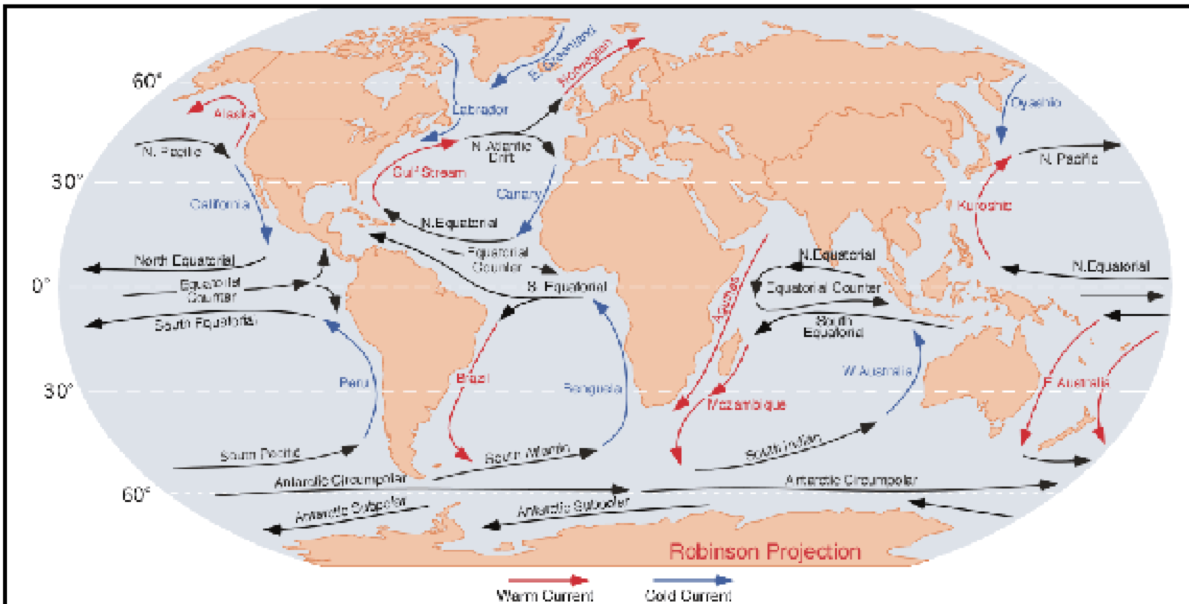
पृथ्वी पर पानी बारिश या बर्फबारी के रूप में, हवा में मौजूद कार्बन डाईआक्साइड को अपने में घोलते हुए गिरता है। फिर जमीन के ऊपर, खनिजों को घोलते हुए (विशेष रूप से चूना पत्थर $CaCO_3$ को एक रासायनिक अभिक्रिया द्वारा घोलते हुए), बहता है और अन्त में या तो जमीन के भीतर चला जाता है या बहकर समुद्रों में पहुँचता है। समुद्र में समुद्री जीव पानी में मौजूद कैल्सियम और कार्बोनेट आयनों का इस्तेमाल अपने लिए कठोर खोल जैसी सीपियों और शंखों को बनाने के लिए करते हैं।

जब पानी जमीन पर बहता है तो वह उसका दो प्रकार से क्षरण करता है – रासायनिक अभिक्रिया के द्वारा और मौसमों की मार की भौतिक गतिविधि के द्वारा। इस तरह वह भूतल को घाटियों और खोहों, खाइयों के आकार देता है। नहरों, नदियों और समुद्रों के माध्यम से बड़े पैमाने पर होने वाले परिवहन के लिए पानी का इस्तेमाल किया जाता है। लोग समुद्र में नौका चालन करते हैं। वे न केवल मौसमी हवाओं का, बल्कि मौसमी धाराओं का भी उपयोग करते हैं। आजकल विशालकाय यात्री जहाज भी ईंधन बचाने के लिए समुद्री धाराओं का उपयोग करते हैं। इन जल धाराओं (गल्फ स्ट्रीम, एल नीनो तथा अन्य) के जलवायु पर भी महत्त्वपूर्ण प्रभाव पड़ते हैं।

इस अणु का रसायनविज्ञान क्या है जो इसे इतना महत्त्वपूर्ण बनाता है? इस अणु का सूत्र H_2O है, जिसका मतलब है कि इसमें हाइड्रोजन के दो परमाणु आक्सीजन के एक परमाणु के साथ मिलकर एक बन्ध बनाते हैं (नीचे का चित्र देंखें)। ये परमाणु इलेक्ट्रानों को साझा करते हैं, लेकिन चूँकि साझे के इलेक्ट्रानों पर आक्सीजन के परमाणु का खिंचाव अधिक बलशाली होता है, इसलिए इस अणु में एक डाइपोल मूमेंट (द्विध्रुव आघूर्ण) कहलाने वाली प्रवृत्ति होती है, अर्थात इसका एक सिरा थोड़ा धनात्मक होता है और दूसरा थोड़ा ऋणात्मक होता है। इस कारण से पानी के अणुओं में एक–दूसरे को (धनात्मक सिरे से ऋणात्मक सिरे को) आकर्षित करने की क्षमता आ जाती है। चूँकि आक्सीजन के पास बन्धों से मुक्त कुछ इलेक्ट्रान भी होते हैं, तो धनात्मक H उन इलेक्ट्रानों से सम्बन्ध बनाता है, और एक निर्बल बन्ध निर्मित करता है जिसे हाइड्रोजन बन्ध कहते हैं। ये बन्ध कमजोर होते हैं (इनकी ताकत सामान्य बन्धों की ताकत के लगभग दसवें भाग के बराबर होती है), लेकिन वे पानी के अणुओं को आपस में चिपके रहने की सुविधा देते



द्विध्रुव आघूर्ण के साथ पानी (H_2O) का अणु



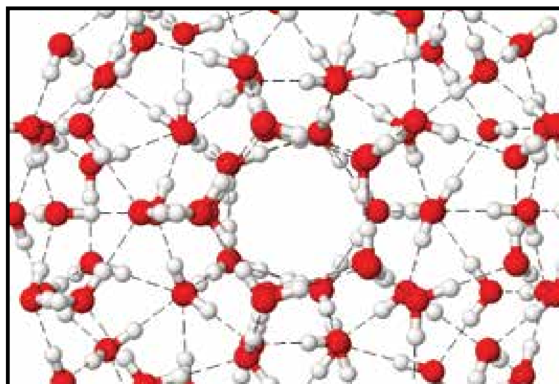
समुद्री धाराएँ
Source: https://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_current . *Public domain*

Dr. Michael Pidwirny (see http://www.physicalgeography.net) - http://blue.utb.edu/paullgj/geog3333/lectures/physgeog.html

हैं। इसके परिणामस्वरूप दूसरे द्रवों की तुलना में पानी के व्यवहार में कुछ विचित्र (अनियमित) बातें दिखाई देती हैं।

पानी का आणविक द्रव्यमान 18 है। कमरे के सामान्य तापमान पर इसके जैसे द्रव्यमान वाले अन्य सभी यौगिक गैसों के रूप में होते हैं। पानी के अणु हाइड्रोजन बन्धों के द्वारा एक–दूसरे से चिपके रहते हैं, इस तथ्य का मतलब यह है कि इन अणुओं को एक–दूसरे से अलग करने के लिए ऊर्जा की आवश्यकता होती है, इसलिए सामान्य तापमान पर पानी द्रव अवस्था में रहता है। चूँकि

> तापमान के अधिकांश पैमाने पानी के हिमांक (बर्फ के रूप में जमने का तापमान) और क्वथनांक (उबलने का तापमान) को अपने स्थिर बिन्दुओं की तरह इस्तेमाल करते हैं। फैरेनहाइट पैमाना बर्फ तथा नमक के मिश्रण के सबसे कम प्राप्त होने वाले तापमान को 0° की तरह लेता है और पानी के क्वथनांक को 212° मानता है।



द्रव पानी की संरचना

अणुओं को अलग करने के लिए आवश्यक ऊर्जा काफी ज्यादा होती है, इसलिए तापमान के एक विस्तृत दायरे – 0°C से 100°C तक – पानी द्रव रूप में ही रहता है।

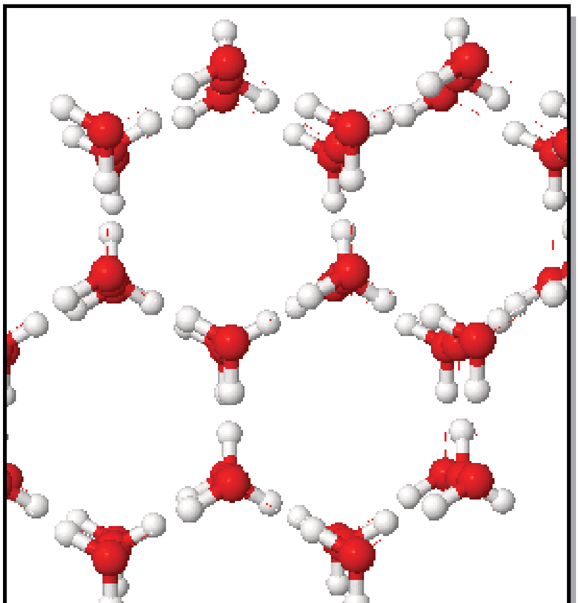
पानी ऐसा एकमात्र पदार्थ है जिसे हम दैनिक जीवन में सामान्य रूप से सभी तीनों अवस्थाओं में देखते हैं : ठोस (बर्फ), द्रव (पानी) और गैस (वाष्प या भाप)।

पानी के इन गुणों में से कुछ को इसके हाइड्रोजन बन्धों की ताकत के माध्यम से समझाया जा सकता है। पानी की ऊष्मा धारिता बहुत अधिक होती है, अर्थात पानी के तापमान को 1° सैल्सियस बढ़ाने के लिए ढेर सारी ऊर्जा की जरूरत होती है, और जब वह ठण्डा होता है तब भी बड़ी मात्रा में ऊष्मा निकलती है। इसका मतलब है कि जीवनधारी सभी रूपों में, पाचन की चयापचयी प्रक्रियाओं (मैटाबोलिक रिएक्शन्स) के दौरान निकलने वाली ऊष्मा उनके शरीर में मौजूद पानी के द्वारा, तापमान में थोड़ी–सी ही वृद्धि के साथ, सोख ली जाती है। पानी के विशाल भण्डार और जलाशय उनसे सटे हुए भू–भागों के तापमानों को स्थिर बनाए रखने का काम भी गर्मियों में ऊष्मा को सोखकर और सर्दियों में उसे उत्सर्जित करके करते हैं। समुद्रतटीय शहर और विशाल झीलों के किनारे बसे नगरों के तापमान, आन्तरिक भू–भाग के नगरों के तापमानों की तुलना में मध्यम स्तर के होते है। यही कारण समुद्री हवाओं के लिए भी लागू होता है। दिन के दौरान भू–भाग समुद्र की अपेक्षा अधिक गरम हो जाता है, और उनसे गरम हवा ऊपर उठती है जिससे समुद्र की अपेक्षाकृत ठण्डी हवा नीचे खाली जगह को भरने के लिए खिंच आती है। बड़े पैमाने पर, मौसम की दृष्टि से, यही गतिविधि भारत में मानसून के दौरों का एक कारण होती है। और बहुत छोटे पैमाने पर किसी गरम दिन के दौरान तरणताल शीतल मालूम पड़ते हैं (क्योंकि उनका पानी बहुत अधिक गरम नहीं हुआ होता है) तथा किसी ठण्डी सुबह वे अपेक्षाकृत गरम लगते हैं (क्योंकि उनका पानी बहुत ज्यादा ठण्डा नहीं हुआ होता है)।

पानी की गलन तथा वाष्पीकरण ऊष्माएँ बहुत अधिक होती हैं, अर्थात बर्फ को 0°C पर 0°C के पानी में बदलने के लिए, और 100°C पर पानी को 100°C की भाप में बदलने के लिए बहुत–सी ऊर्जा की जरूरत पड़ती है। पौधों में प्रस्वेदन और पशुओं में पसीना आने की क्रिया चयापचयी (मैटाबोलिक) प्रक्रिया के दौरान पैदा हुई अतिरिक्त ऊर्जा को पानी के वाष्पीकरण के लिए इस्तेमाल करने के माध्यम से उसे निकालने में मदद करती है, और इस तरह उनके शरीर को ठण्डा करती है।

पानी के इन सभी गुणों को हाइड्रोजन बन्धों की ताकत के द्वारा समझाया जाता है, लेकिन पानी की कुछ अन्य विशेषताएँ भी हैं जिन्हें इतनी आसानी से समझाया नहीं जा सकता। जब द्रवों को ठण्डा किया जाता है तो वे सिकुड़ते हैं, क्योंकि उन्हें निर्मित करने वाले अणुओं के पास, कम तापमानों पर कम ऊर्जा रहती है, इसलिए वे एक–दूसरे के नजदीक आ जाते हैं। यह संकुचन तब तक जारी रहता है जब तक कि पूरा द्रव जम नहीं जाता। इसलिए आमतौर पर द्रवों की तुलना में ठोस अधिक घने होते हैं। परन्तु जब पानी ठण्डा होता है तो उसका घनत्व तब तक तो बढ़ता है जब तक कि वह 4°C पर पहुँचता है, पर उससे और ठण्डा होने पर वह घटने लगता है। द्रव पानी की तुलना में बर्फ कम घना और हल्का होता है, जो आपके पानी के गिलास में बर्फ के तैरते हुए टुकड़ों से साफ जाहिर होता है। अति ठण्डी जलवायु वाले इलाकों में पाए जाने वाले जीव–जन्तुओं के लिए इस तथ्य के बहुत महत्त्वपूर्ण निहितार्थ होते हैं। जब मौसम ज्यादा ठण्डा होने लगता है, तो सतह का पानी ठण्डा होकर नीचे तलहटी में बैठने लगता है। यह प्रक्रिया तब तक चलती है जब तक तापमान 4°C पर नहीं पहुँच जाता। इससे ज्यादा ठण्डा होने पर पानी सतह पर ही बना रहता है क्योंकि वह कम घना अर्थात हल्का होता है। जब पानी जमता है तो वह ऊपर से जमता है, और शेष नीचे का पानी, उदाहरण के लिए जमी हुई झील में सतह के नीचे का पानी लगभग 4°C पर बना रहता है। इस प्रकार सभी जलीय जीवरूप सर्दियों के महीनों में नीचे के अपेक्षाकृत गरम पर्यावरण में जीवित बने रहते हैं। दूसरी ओर चट्टानों के भीतर की दरारों में पानी के जमने पर उसमें हुआ फैलाव उनको चौड़ा करता है और उनकी भौतिक टूटन का कारण बनता है।

पानी के कई गुण इस प्रकार का व्यवहार दर्शाते हैं – वे तापमान के साथ–साथ लगातार एक तरह से



बर्फ की संरचना

नहीं बदलते, बल्कि एक न्यूनतम और एक अधिकतम, दो प्रकार की स्थितियाँ दर्शाते हैं।

1. ऊष्मा धारिता 35°C पर अपने न्यूनतम स्तर से गुजरती है, जबकि अधिकांश द्रव उसमें एक लगातार बढ़त दर्शाते हैं।
2. संपीड्यता (अर्थात दब सकने का गुण) – पानी को दबाकर संकुचित करना बहुत कठिन होता है। अधिकांश अन्य द्रवों के प्रतिकूल, पानी की संपीड्यता लगभग 46°C पर अपने न्यूनतम स्तर पर होती है। पानी की यह विशेषता सभी जीवरूपों (पौधों तथा पशुओं दोनों) को उनका ढाँचा बनाने के लिए एक सामग्री की तरह उसका उपयोग करने की सुविधा देती है। पौधे अपने पानी के कारण फूले हुए रहते हैं और उसका क्षय होने पर मुरझा जाते हैं। जैलीफिश, केंचुए और अन्य जीव–जन्तुओं के ढाँचों में पानी एक घटक के रूप में होता है।
3. पानी में ध्वनि की गति 74°C तक बढ़ती जाती है और फिर वह घटने लगती है।

ये बस कुछ ही ऐसे गुण हैं जो दर्शाते हैं कि अधिकांश अन्य द्रवों की तुलना में पानी अलग तरह से व्यवहार करता है। वर्तमान में बहुत–सा शोध कार्य इन्हीं भेदों को समझाने पर केन्द्रित है कि ऐसा होने का क्या कारण हो सकता है।

कमरे के सामान्य तापमानों पर पानी के अणु ढीले झुण्डों के रूप में होते हैं जो हाइड्रोजन बन्धों के कारण इकट्ठे बने रहते हैं, और जो काफी सरलता से अपने साथी बदलते रहते हैं। जब द्रव पानी ठण्डा होने लगता है, तो ये झुण्ड ज्यादा खुले छोरों वाली संरचनाओं में बदलने लगते हैं, जिनमें से प्रत्येक में चार हाइड्रोजन बन्ध होते हैं। इसलिए बर्फ की संरचना पानी की तुलना में ज्यादा खुली होती है और वह कम घनी तथा ज्यादा ऊष्मारोधी होती है। जब बर्फ पिघलती है तो उसके लगभग 15% हाइड्रोजन बन्ध टूट जाते हैं, जिससे उसका आयतन घट जाता है। जब इस प्रक्रिया को और अधिक ऊर्जा प्रदान की जाती है तो तापमान बढ़ता है, फिर और भी अधिक हाइड्रोजन बन्ध टूटते हैं, जिससे पानी का घनत्व बढ़ जाता है। लेकिन उच्च तापमान पर पानी के अणु एक–दूसरे से ज्यादा दूर होते जाते हैं जिससे पानी का घनत्व कम होने लगता है। इन दोनों विरोधी प्रक्रियाओं का संतुलन 4°C पर पानी को उसका अधिकतम घनत्व देता है। हाइड्रोजन बन्धों की ऐसी खुली और बन्द संरचनाओं का यह आन्तरिक क्रियाकलाप ही पानी को उसकी वह अनियमित संरचना और विशेषताएँ प्रदान करता है जो अभी भी शोध के महत्त्वपूर्ण विषय बने हुए हैं।



यासमीन जयतीर्थ *वर्तमान में बेंगलुरु के सेण्टर फॉर लर्निंग में पढ़ाती हैं। उन्होंने आई. आई. टी. बाम्बे से एम.एससी., तथा इण्डियन इंस्टीट्यूट आफ साइंस, बेंगलुरु से रसायन शास्त्र में पीएच.डी. की उपाधियाँ हासिल कीं। डाक्टरेट के उपरान्त उन्होंने अपना शोध कार्य यूनिवर्सिटी आफ लुईविल तथा इण्डियन इंस्टीट्यूट आफ साइंस, बेंगलुरु में किया।*
अनुवाद *: भरत त्रिपाठी*